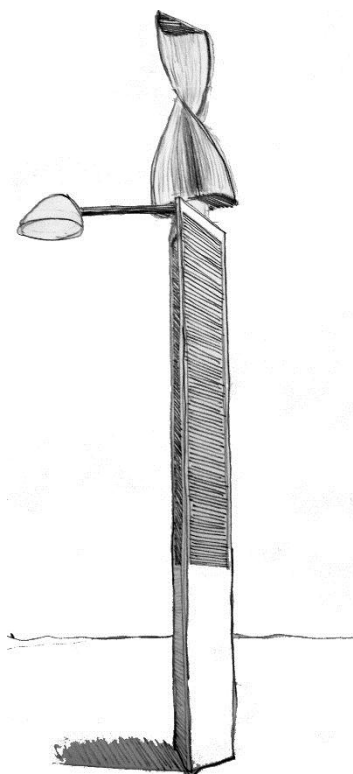


CopenHybrid - Udvikling af CO2 neutralt byrumsarmatur – Fase 1.5

Slutrapport
PSO 339-50



Udarbejdet af:

Peter Behrendorff Poulsen, Carsten Dam-Hansen, Dennis Corell, Anders Thorseth, Sune Thorsteinsson, Søren Stentoft Hansen, Jesper Wolff, DTU Fotonik

Christian Bak, Witold Skrzypiąski, Christina Beller, Carsten Weber Kock, DTU Wind Energy

Bogi Bech Jensen, Jakob Wagner Sødahl, DTU Elektro

Fabian Bühler, René Kirstein Harboe, Faktor 3 ApS

Per Boesgaard, Gate 21

Tim Jensen, Philips Lighting

Allan Nielsen, Alfred Priess

Christian Andresen, Henning Larsens Architects

Morten Fahlén, Dong Energy

Thomas Maare, Copenhagen Municipality

Jan Poulsen, Egedal Municipality

Torben Christian Zinn, Albertslund Municipality

Projektet er støttet under ELFORSK programmet med 305.068 kr. og har her projektnummer 339-50 "CopenHybrid – udvikling af CO2 neutralt byrumsarmatur – Fase 1.5".

FORORD

Denne rapport indeholder en beskrivelse af arbejdet udført i og resultaterne af forsknings- og udviklingsprojektet "CopenHybrid – udvikling af CO2 neutralt byrumsarmatur – Fase 1.5" og udgør slutrapportering for dette projekt. Projektet ligger i forlængelse af PSO 343-021 og bygger videre på F&U arbejdet heri.

Projektet er gennemført i et samarbejde imellem følgende partnere:

- Gate 21
- DTU Fotonik
- DTU Vind
- DTU Elektro
- Philips Lighting
- Faktor-3
- Alfred Priess
- Henning Larsens Tegnestue
- Dong Energy
- Københavns Kommune
- Albertslund Kommune
- Egedal Kommune

Projektet har været under ledelse af

Gate 21, Administrativ projektledelse

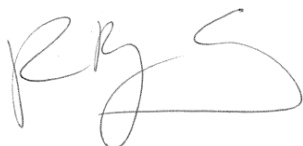
Projektleder, Per Boesgaard
Vognporten 2
2620 Albertslund
CVR-nr.: 32112846

DTU Fotonik, Teknisk projektledelse

Projektleder Peter Behrendorff Poulsen
Frederiksborgvej 399, Bygning 128
4000 Roskilde
CVR-nr.: 30060946

Projektet er finansieret af Dansk Energi under ELFORSK's PSO program, indsatsområde 3a. LED belysning. Projektet har projekt nr. PSO 339-50, og blev startet i januar 2013 og er afsluttet i december 2013.

I rapportens første del gives et kortfattet resumé af projektet og dets resultater, herunder baggrunden for og formålet med projektet, hovedresultaterne samt konklusioner og perspektiverne af projektets resultater. En udførlig rapportering af projektarbejdet i detaljer og resultaterne følgende heraf og konklusionerne herpå er givet efterfølgende. Til sidst følger liste med den formidlingsaktivitet projektet har udsprunget i.



Per Boesgaard

Gate 21, Albertslund, 22. april 2014.



Peter Behrendorff Poulsen

DTU Fotonik, Roskilde 22. april 2014

PREFACE

This report contains a description of the work carried out and the results of the research and development project: "CopenHybrid - Development of a carbon neutral luminaire for the urban environment" and form the final report for this project. The project builds on the results of obtained in ELFORSK 343-021.

The project is carried out in cooperation between the following partners:

- Gate 21
- DTU Fotonik
- DTU Vind
- DTU Elektro
- Philips Lighting
- Faktor-3
- Alfred Priess
- Henning Larsens Tegnestue
- Dong Energy
- Københavns Kommune
- Albertslund Kommune
- Egedal Kommune

The project has been led by:

Gate 21, administrative project management

Project Manager, Per Boesgaard
Vognporten 2
DK-2620 Albertslund
CVR-nr.: 32112846

DTU Fotonik, Scientific project management

Project Manager, Peter Behrendorff Poulsen
Frederiksborgvej 399, Building, 128
DK-4000 Roskilde
CVR-nr.: 30060946

The project is financed by the Danish Energy Association through ELFORSK's PSO program, under 3a. LED illumination and 7b. Marking and efficiency demands. The project has no. PSO 339-50 and was initiated in January 2013 and was ended in December 2013.

In the first part of the report a short resume of the project is given, describing the background and aim of the project, the work and results together with future perspectives of the results of the project. A detailed report of the project work and the results following hereof and the conclusions are given below. Finally, the work on communicating the results of the project are described.

1. INDHOLDSFORTEGNELSE

Forord	2
Preface	3
2. Resumé	5
2.1. Baggrund	5
2.2. Formål	5
2.3. Projektgruppen	6
2.4. Konklusioner og perspektiver.....	6
3. Målinger på 4 hybridsystemer på risø campus	9
3.1. kommercielle hybridsystemer til test og benchmarking.....	9
4. Vindturbin/generator.....	13
5. Matematisk modelsystem.....	17
6. Energisystemanalyse.....	19
7. Markedsanalyse	22
8. Formidling	27

2. RESUMÉ

I det følgende gives et kortfattet resumé af projektet og dets resultater, herunder baggrunden for og formålet med projektet, hovedresultaterne samt konklusioner og perspektiverne af projektets resultater.

2.1. BAGGRUND

Projektets ultimative formål er at realisere en danskproduceret skalerbar hybridgadebelysningsenhed, med et godt design og en teknisk formåen i alle led i energikæden, der ligger langt over, hvad der er standard på verdensmarkedet i dag. I ELFORSK projektet 343-021 "Udvikling af CO2 neutralt byrumsarmatur" blev identificeret store tekniske udfordringer på en række områder, for at realisere dette og disse adresseres yderligere i nærværende projekt, der tjener til at udbygge analysen fra det forudgående projekt og styrke de måleplatforme, der blev opbygget heri, hvilket er afgørende værktøjer i en udviklingsproces mod realisering af det ultimative formål. Generatordelen af hybridsystemet har været i særlig fokus i nærværende projekt, da denne er et nøglepunkt i forhold til at få succes med at få optimeret energihøsten fra vindturbinen. Verdensmarkedet for hybridsystemer er et milliardmarked og især i vækstøkonomier som Afrika, Indien, Kina, Mellemøsten etc., hvor vejnettet udvides massivt i øjeblikket, vil hybridsystemer være særdeles velegnede, da den meget dyre kabling herved kan undgås, ligesom USA, Canada og ikke mindst koldtklimaområder, hvor ca. 1 mia. af jordens befolkning bor, er forholdene særligt vanskelige at etablere kabelnet i, og det vil være meget lukrativt at anvende selvforsynende løsninger. En markedsanalyse foretaget i projektets løbetid peger endvidere på, at markedet for hybridsystemer er meget umodent, men bestemt et marked der kommer til at vokse voldsomt i forskellige faser på globalt plan de kommende år. I 2020 er der meget stor sandsynlighed for, at CO2 neutrale løsninger vil begynde at dominere salget af gadebelysning, da energiforbruget af lysenheden, hvis denne måtte være baseret på LED teknologi, der er kommet så højt op i effektivitet og batteri/solcelle/vindteknologi endvidere har gennemgået et teknologiforbedringsproces på 6 år fra dato med fordel på såvel ydelse om pris, at selve systemet vil være så omkostningseffektivt, at det vil være kablede løsninger overlegne, da disse alt andet lige også har omkostninger til vedligehold og skal retableres efter måske 40-50 års drift.

2.2. FORMÅL

Nærværende projekt har haft til dedikeret formål gennem 3 faser, hvor denne udgør en mellemfase på 1 år mellem de to andre hvert af 2-3 års varighed at frembringe en lysmast, der udover at fungere som en energibesparende høj kvalitetsbelysningsenhed baseret på den nyeste LED teknologi og alle de fordele denne lysteknologi bringer med sig, ligeledes bliver selvforsynende med energien fra sine omgivelser via sol og vindteknologi. Nærværende projekt er kaldt fase 1.5 og udgør en mellemfase og bygger op mod fase 2, hvor alle de identificerede tekniske udfordringer skal nedbrydes og et kommercielt danskproduceret system baseret herpå introduceres efter endt forløb. Fase 1.5 er et mindre projekt, der har arbejdet med følgende faglige spor:

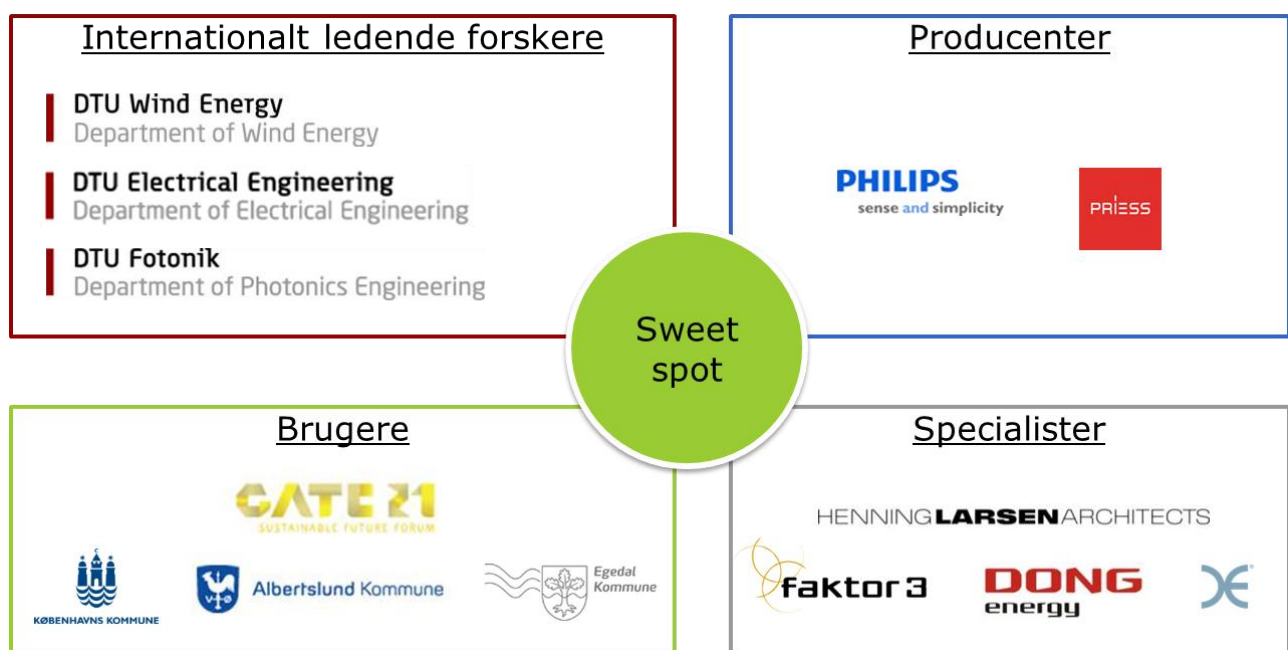
- Fejlretning og kvalitetssikring af HybridFieldLab, test sitet, hvor kommercielle hybridsystemer er sat op og der er etableret målinger på energistrømmende heri med referencemålinger på vind og sol i området.
- Vedligehold af målesystemer på HybridFieldLab, således at data for den periode hybridsystemerne har været opsat har kunnet indsamles og analyseres.
- Analyse af data for kommercielle hybridsystemer og sammenholdning med hvad en danskproduceret hybridbelysningsløsning kan levere energimæssigt i forhold hertil i en optimeret udgave.
- Videreudvikling af det matematiske modelsystem udviklet i fase 1 og en opgradering af denne til fungere i en i et professionelt git-baseret softwareudviklingsmiljø til netværksbaseret softwareudvikling.
- Modellering af de kommercielle hybridmasters performance baseret på måling af de tekniske parametre og sammenligning med data fra producenten.

- Analyse af generatordelen og hvordan der kan realiseres en specialløsning hertil.
- Realisering af en markedsanalyse af hybridsystemer på relevante markeder samt for kommerialisering af den matematiske model.

Nærværende rapportering er status midtvejs på vejen mod at realisere et hybridbelysningsystem og skal give det bedst mulige afsæt herfor. Et heraf følgende fase 2 projekt til realisering heraf består af en udvikling af de identificerede svage led i kæden for realisering af et optimeret hybridsystem, anvendelse af de værktøjer, der er udviklet i fase 1 og 1.5 projektet til at benchmarke de enkelte delkomponenter i energisystemet i udviklingsprocessen heraf og realisering af en række prototyper før en effektiv og succesfuld markedsintroduktion kan forekomme af hybridsystemer.

2.3. PROJEKTGRUPPEN

Til at gennemføre projektet er sammensat en projektgruppe under overordnet ledelse af Gate 21 (Administrativ projektleder), hvoraf den tekniske undergruppering i projektet har været ledet af DTU Fotonik (Teknisk projektleder). Projektgruppen har været tværfagligt sammensat således at hele værdikæden har været repræsenteret og med stærke videnskabelige kompetencer på de kritiske tekniske dele af projektet. En oversigt er gengivet nedenfor:



2.4. KONKLUSIONER OG PERSPEKTIVER

Projektet har vedligeholdt og fejlrettet på HybridFieldLab på DTU RISØ Campus og sat måleudstyr på Urban Green Energy masten. Analyser på de kommercielt indkøbte master har vist haveri på dem alle, ligesom de turbiner, det har været muligt at uddrage fornuftige energieffektivitetsmålinger ud fra har vist, at producentens data ligger langt fra målte værdier. Projektet har vist behovet for realisering af et uvildigt måleområde for hybridsystemer, som kunne være på det nuværende site, hvor uvildige tests af hybridsystemer kunne realiseres til hjælp for indkøbere heraf. Et behov herfor har været udtrykt på såvel nordisk som europæisk plan og projektgruppen arbejder videre med at

realisere en projektmæssig platform herfor, der kan føre til at dette behov dækkes til bedst muligt vejlede i investeringer i retning af hybridsystemer, der alt andet lige forventes at være et voksende marked også på vore breddegrader. En markedsanalyse har vist, at hybridsystemer globalt set de næste 5 år ser ud til at være i en indledende pre-fase før take-off, der kan føre til et eksponentielt voksende marked. Markedet vurderes for nuværende på globalt plan at være lidt under en halv million enheder med ca. 10% årligt markedsvækst på nuværende tidspunkt på årsbasis, der dog skal deles mellem solcelledrevne løsninger og sol/vinddrevne løsninger. Det er primært et marked, hvor der ikke er kabler for nuværende, så det er nybyg eller landdistrikter, men den teknologiske udvikling på komponenterne i systemet driver effektiviteten op herpå og samtidigt prisen ned, hvilket gør systemerne mere og mere gunstige og et endeligt take-off for hybridmarkedet kan skimtes i omkring 2020. Der er ikke nogen nøglespiller på markedet endnu, så det er muligt at gå ind og dominere markedet med et overlegent produkt. Købernes opfattelse af hybridsystemer, hvad de kan og hvad de koster, er langt fra sandheden, så der ligger også et formidlingsarbejde, som barriere for indtrængning på markedet. Alt i alt med de teknologiske udfordringer nedbrudt som defineret i fase 1 projektet, øjnes muligheden for at realisere et danskproduceret hybridsystem (CopenHybrid), der kan blive en dominerende spiller på markedet for hybridsystemer og køre sig i stilling til effektivt take-off for markedet forventeligt om 5 år.

Det matematiske modelsystem er blevet overført til en professionel udviklingsplatform, således at det er klart til at blive taget til det næste niveau. Simuleringer på CopenHybrid i en endelige udgave ekstrapoleret til 2020 med de udfordringer løst på generator, turbine, mølledesign og systemniveau identificeret i fase 1 har vist, at systemet kan fungere autonomt på en E2 vej i København over hele året. Det matematiske modelsystem har endvidere vist sin kommercielle værdi især over for producenter heraf, der ser værdien i dette til såvel dimensionering/udvikling af systemer, men også i markedsføringsøjemed. Sidstnævnte er interessant, da værktøjet uvildigt kan vise simuleringer af hybridsystemer og om disse i en given placering forventes at kunne skabe den nødvendige energi til lys fra sine energihøstende dele. Det var også mål for analysen at undersøge, om der var et marked på aftagersiden for et sådan værktøj, så køber kan vurdere imellem forskellige hybridsystemer. Da markedet for hybridsystemer er så nyt og forbundet med så meget uvidenhed, er det relativt besværligt at få et meningsfyldt svar på. Umiddelbart har interessenterne i denne del af værdikæden svært ved at se behovet, men det kan skyldes at produktet alt andet lige er forud for sin tid, og først bliver rigtig relevant, når markedsindtrængningen for hybridsystemer er større, og den første version af det matematiske modelsystem skal adressere producenter. Det bør dog blot tjene som springbræt til det væsentligt større marked for dette software nemlig købere og de andre beslutningstagere omkring processen ved indkøb af hybridsystemer. Det er tænkeligt at rådgivere bliver den første køberrelaterede kundegruppe for modelværktøjet.

Der er endvidere i fase 1.5 undersøgt, hvorledes en generator kan udvikles og passe optimalt i forhold til målekonfigurationen og elektronikken, der skal høste energien ned på batteriet. Det er identificeret at generatoren skal optimeres i forhold til:

- Optimeret energihøst ved 2-10 m/s vindhastighed
- Peak performance ved 4-6 m/s vindhastighed
- Minimering af fortandingsmoment (cogging torque) for at sikre selvstart og lav cut-in speed samt reduktion af støj.
- Effektiv selvstart
- Lav cut-in speed.
- Lavt støjniveau.
- Minimal vibration
- Minimal vedligeholdelse

Der er realiseret en generatorspecifikt MATLAB baseret generatordimensioneringsværktøj, der skal anvendes fremadrettet i et loop sammen med mølleudvikling og elektronikudvikling til realisering af en optimal generator til CopenHybrid baseret på ovenstående identificerede udfordringer og rammebetingelser.

Det er projektgruppens klare overbevisning understøttet af markedsanalysen, at der ved nedbrydning af de tekniske udfordringer identificeret i fase 1 kan realiseres et danskproduceret internationalt overlegent hybridsystem, der vil have mulighed for at udnytte det unikke mulighedsrum på markedet for hybridsystemer til at blive dominerende herpå og slå sig fast. Dette vil sikre vækst til såvel producent som de danske underleverandører hertil og i 2020 er det ikke urealistisk at have realiseret mindst 100 arbejdspladser baseret herpå, og bliver markedsudviklingen herfra bedre end lineær kan det blive væsentligt mere. Der er ansøgt et EUDP projekt baseret herpå pr. 4. marts 2014, der er en sammensætning af et konsortium af primært nationale men også nogle internationale partnere, der optimalt vil kunne løft opgaven i fællesskab – en opgave, der alt andet lige er relativt forskningstung.

Efter endt projektperiode for fase 1.5 er det besluttet at realisere 2 prototyper af en justeret version af CopenHybrid for hurtigst muligt at få etableret en hardwareplatform, der kan arbejdes videre med, hvis et evt. EUDP projekt udmøntes medio 2014. Prototyperne kan ses på Energiens Topmøde 11. juni 2014 og ved Folkemødet på Bornholm 12.-15. juni 2014. Herefter vil de pr. september 2014 indgå i Danish Outdoor Lighting Lab (DOLL)s Living Lab internationale udstillings- og testcenter for udendørsbelysning og smart city løsninger i Hersted Industripark ved Albertslund.

Det er endvidere projektgruppens hensigt at færdigudvikle det matematiske modelsystem, så det kan fungere som et værktøj til såvel udvikling af hybridsystemer som evaluering heraf inden køb. Endvidere har de to ELFORSK projekter vist, at der er behov for en uvildig instans for test og karakterisering af hybridsystemer, og nøgleaktører herfor i projektgruppen har taget de første skridt i forhold til at realisere et internationalt projekt til opbygning af en sådan platform og deling af data på den relevante måde.

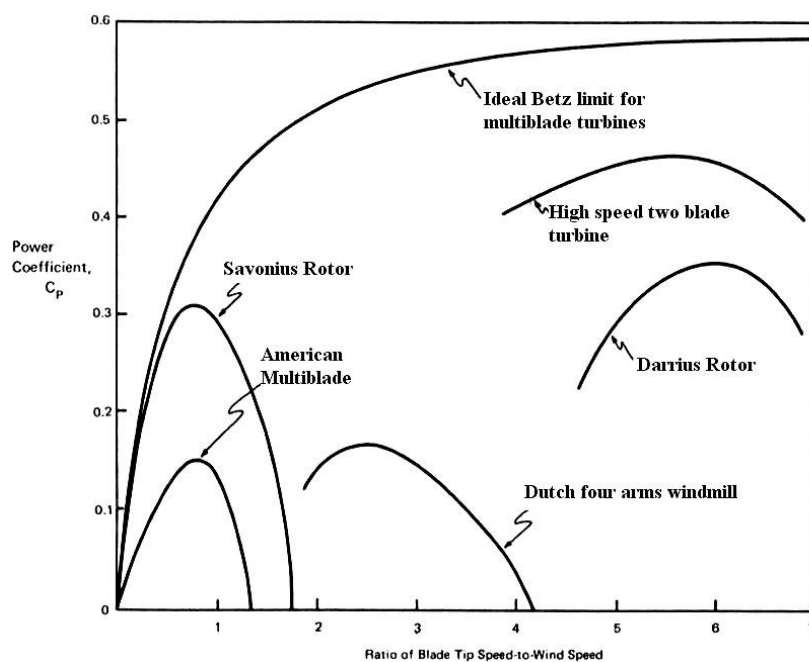
3. MÅLINGER PÅ 4 HYBRIDSYSTEMER PÅ RISØ CAMPUS

3.1. KOMMERCIELLE HYBRIDSYSTEMER TIL TEST OG BENCHMARKING

I fase 1 blev følgende hybridmaster indkøbt og installeret på RISØ Campus i Roskilde

- China Green Power
- United Electricity
- Urban Green Energy
- Nheolis

Baggrunden for at udvælge netop disse systemer på verdensmarkedet var, at det umiddelbart var de mest veludviklede løsninger, projektgruppen kunne finde pr. 1. januar 2012. Alle de valgt løsninger blev solgt i flere lande og virkede derfor som nogenlunde seriøse leverandører af produkter til brug i den vestlige del af verden med de specifikke krav, der stilles her. Alle de udvalgt produkter (blandt de 29 projektgruppen fandt) bliver markedsført i Europa og United Electricity og Nheolis har salgskontorer i Sverige mens Urban Green Energy har hovedkontor i New York. China Green Power mødte projektgruppen på en messe i Husum, Tyskland, hvor de ytrede Europa og i særlig grad Tyskland som et strategisk udvalgt marked for deres teknologi. China Green Energy løsningen er særlig attraktiv, da den benytter en savonius rotor, som er "drag driven" og derfor aldrig roterer hurtigere end vindhastigheden. Det er et vigtigt sikkerhedselement, hvis denne skulle risikere at havare.



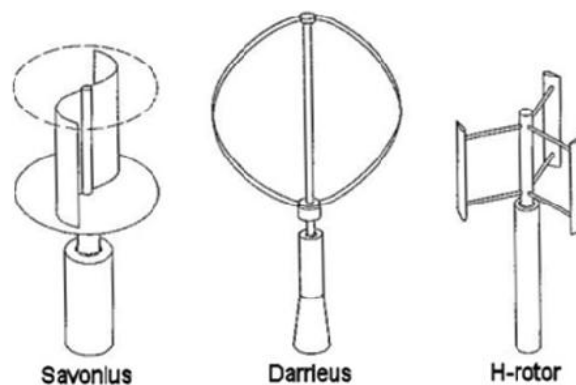
Figur 1 Effektkoefficient C_p som funktion af tip speed ratio for forskellige rotordesign.¹

¹ Magdi Ragheb and Adam M. Ragheb (2011). Wind Turbines Theory - The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio, Fundamental and Advanced Topics in Wind Power, Dr. Rupp Carriveau (Ed.), ISBN: 978-953-307-508-2, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/fundamental-and-advanced-topics-in-wind-power/wind-turbines-theory-the-betz-equation-and-optimal-rotor-tip-speed-ratio>

En vindturbin omdanner vindens kinetisk energi til rotationsenergi ved at nedbremse vinden, således at hastigheden er mindre efter at rotoren er passeret. Effekten for en vindturbin kan beskrives ved følgende formeludtryk:

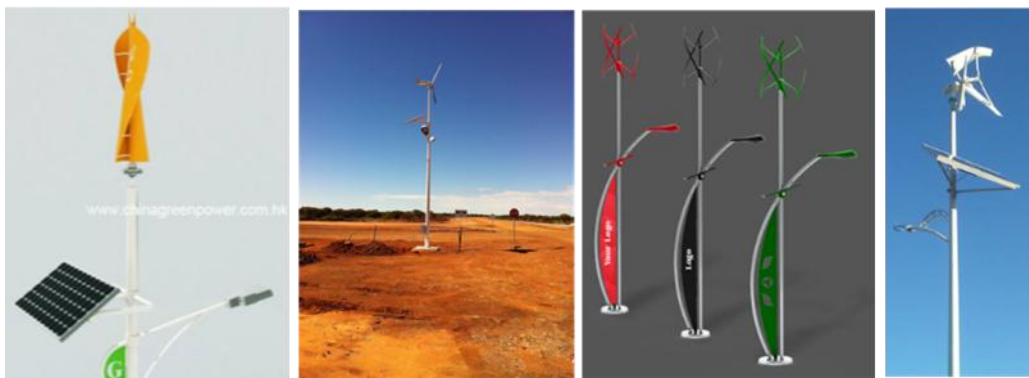
$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A$$

P er effekten af turbinen mens C_p er effektkoefficienten (eller udnyttelsesgraden) for den specifikke turbin, ρ er luftens massefylde, v , er vindhastigheden og A , størrelsen af det projicerede areal som rotoren udspænder ved sin rotation, som vinden møder. På Figur 1 ses forskellige effektkoefficienter for forskellige mølletyper og det ses at en savonius rotor kan opnå en effektkoefficient på 0,3, hvor vindhastigheden er næsten den samme som hastigheden af den yderste og hurtigstrotterende del af møllestrukturen. Højere C_p værdier kan opnås via mølletyperne, der er "lift-driven", der alle har en væsentligt højere hastighed i yderpunkterne end vindhastigheden, og dermed giver større risiko, hvis en vinge fx skulle rive sig løs i kraftig blæst. Forskellige vertikalaksede mølletyper er vist nedenfor på Figur 2.



Figur 2 – Forskellige vertikalaksede mølletyper²

C_p værdier for horisontalaksede tre-bladede møller kan nå op på næsten 0,5, hvor vingespidsene har en hastighed på op mod 6-8 gange vindhastigheden. Så savoniusmøllen er af type ikke den mest effektive i møllefeltet, men den der lever bedst op til kravene, når det gælder æstetik, sikkerhed, håndtering af turbulent vind, lav cut-in-speed, samt kan laves selvstartende, som fx den i projekt fase 1 udviklede løsning, der er tvistet i sit setup for netop at sikre dette. Andre produkter med forskellige mølletyper er valgt for sammenligningens skyld og fordi de faldt inden for kriterierne i udvælgelsesprocessen. Processen er angivet i detaljeret form i slutrapporten for fase 1 mens der i fase 1.5 er analyseret data for en længere periode for nogen af masterne.



² Christina Beller, 2011, Urban Wind Energy, PhD thesis, Risø DTU, Roskilde.

Figur 3 Hybridsystemer indkøbt hos internationale forhandlere

De testede hybridsystemer og nogle parametre herfor er angivet nedenfor i tabel 1.

	China Green Power	United Electricity	Urban Green Energy	Nheolis
WIND (power)	200 Wp	400 Wp	600 Wp	300 Wp
Turbine højde	7.0 m	8.0 m	11.0 m	9.0 m
Turbine type	Savonius	HAWT	twisted VAWT	3D HAWT
Turbine area	1.4 m ²	3.8 m ²	2.4 m ²	1.77 m ²
PV power	200 Wp	180 Wp	150 Wp	200 Wp
PV højde	5 m	6 m	6 m	7.5 m
PV type	Poly Crystalline	Mono Crystalline	?	Poly Crystalline
PV areal	2 m ²	1.5 m ²	1.17 m ²	1.0 m ²
PV tilt	45 deg	45 deg	45 deg	30 deg
LED / Lys	60 W LED	30 W induktion	77 W LED	60 W LED
LED højde	6.0 m calc	8.0 m calc	?	6.0m calc
STORAGE				
battery capacity	0.96 kWh	2.40 kWh	2.10 kWh	1.44 kWh

Tabel 1 De installerede hybridsystemers parametre.

Hybridsystemerne blev installeret på DTU RISØ Campus gennem sommeren 2012 (Urban Green Energy systemet dog først primo 2013). Billeder af systemerne kan ses nedenfor:

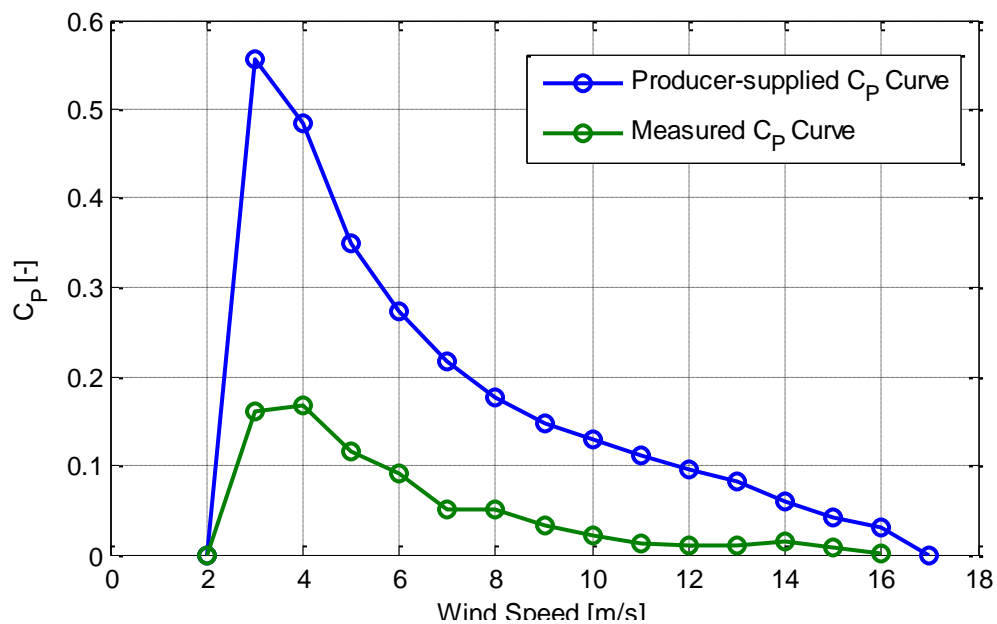


Figur 4 Billeder af de 4 installerede hybridsystemer på RISØ Campus

Savonius systemet fra China Green Power gik meget hurtigt i stykker grundet nogle problemer med et leje og det var ikke muligt i den korte periode at få nogle brugbare målinger på dette system. De resterende hybridsystemer har fungeret helt eller delvist i perioden for fase 1.5 og såvel mølle som systemdate vil blive behandlet videre nedenfor. Urban Green Energy systemet blev leveret så sent i projektførløbet af fase 1.0, at det ikke var muligt at etablere datalogning herpå inden for projektperioden, og data herfra blev ikke behandlet i fase 1.

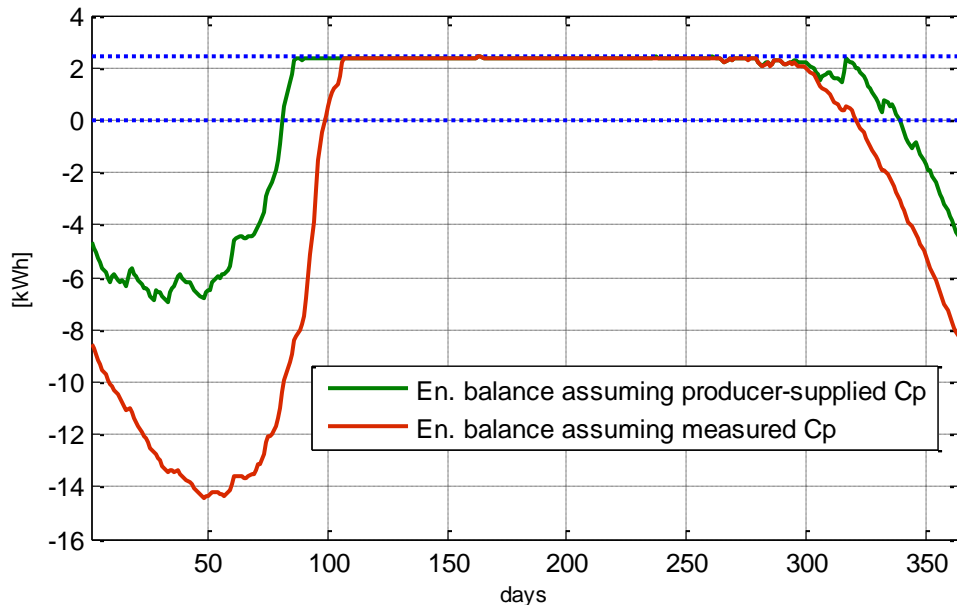
4. VINDTURBINE/GENERATOR

En målekampagne på de 4 hybridbelysningsystemer blev startet i 2012 og er fortsat i fase 1.5 projekt gennem 2013, og data herfra er mangfoldige nok til at kunne analysere på. Nedenfor er vist C_p data for forskellige vindhastigheder for United Electricity hybridsystemet og disse er sammenlignet med producentens data.



Figur 5 Producentens data for møllens C_p værdier som funktion af vindhastigheden (blå kurve) sammenlignet med målte værdier (grøn kurve).

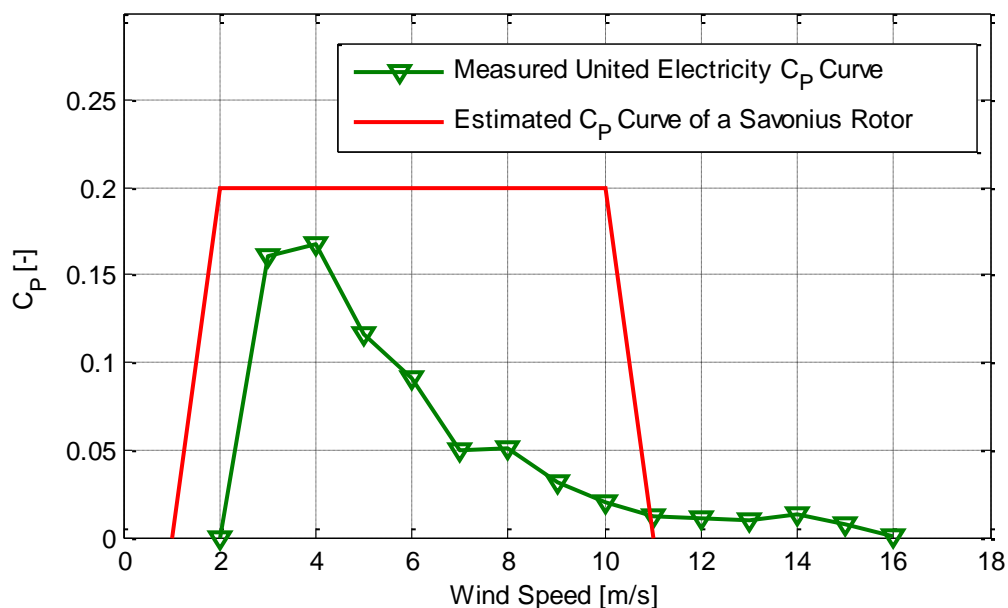
Forskellen i performance mellem de reelle værdier og producentens tal kan skyldes, at de er målt ved nogle meget favorable omstændigheder, der ikke er sammenlignelige med de aktuelle i brugssituationen. Konsekvensen af forringelsen er store i hybridsystemets performance. De mest energimæssigt udfordrende dage i vintermånederne, hvor dagene er korte og nætterne lange og solenergien sparsom, så er en så voldsom reduktion i performance som ovenstående er udtryk for, fatal, i forhold til supplerende af solenergien med vindenergi til at opretholde lysniveauet om natten. Figuren nedenfor viser forskellen på en simuleret E2 vejklasse for hybridmasten, hvor både de målte og producentens data er brugt i simuleringen til sammenligning.



Figur 6 Forskellen i den årlige energibalance for United Electricity hybrid systemet når der anvendes henholdsvis producent data og målte data.

I simuleringen er den eneste ændrede parameter C_p kurven og konsekvensen kan ses heraf hen over året. Selv med producentens data har masten en udfordring, men det bliver væsentligt forværret ved anvendelsen af de reelle værdier. Vindklimaet og lysbetingelser er sat til værdierne for en gennemsnitlig E2 vej med spredte, lave bygninger. Batterikapaciteten er sat til 2,4 kWh svarende til de oplyste for batteriet i systemet. X-aksen viser dagene hen over året, hvor 1 svarer til 1. januar. Når kurven krydser x-aksen er det fordi, der ikke er energi nok i systemet til at opretholde lyset i den mørke periode. Generelt er den store forskel på sommer og vinter, hvor energiforbruget i vinterhalvåret er voldsomt stort i forhold til sommerens korte nætter, en stor udfordring for CO2 neutrale systemer, hvilket er en helt generel udfordring for hybridsystemer anvendt under disse klimatiske forhold.

Udfordringen med United Electricity turbinen ser ud til at være typisk for hybridsystemerne. Et optimeret vindsystem med optimeret kraftoverførsel til generator og energihøstning i elektronikenheden, der kobles hertil burde med en savonius rotor kunne opnå nedenstående effektivitetsprofil:



Figur 7 - Estimeret C_p kurve for en savonius rotor (rød), der forventes udviklet i fase 2 af projektet sammenlignet med den målte C_p kurve for United Electricity mastens rotor.

Selvom den trebladede turbine på United Electricity masten burde kunne opnå høje effektiviteter, så ser det ud til at den specialudviklede CopenHybrid savonius udgave vil kunne opnå en bedre effektivitet. Systemet vil blive designet specielt til at opnå høj effektivitet i regimet for vindhastigheder i byrummet svarende til 2-10 m/s. Savonius turbiner er relativt ofte anvendt i både urbane og landdistrikter grundet deres simple design. Der er derfor ganske meget videnskabeligt litteratur, der beskriver resultater af målinger herpå og beregninger på disse turbiner og et studie af denne litteratur viser, at det langt fra er urealistisk at realisere en turbineløsning, der har en flad effektivitetskurve på omkring 0,2 i de operationsbetingelser, der vil være i byrummet. Dog burde en peakværdi på 0,3 være mulig, ved en ultimativ optimeret løsning, men projektgruppen har sat et ambitiøst og realistisk mål på de 0,2 og den illustrerede kurveform, hvilket er nok til succes. Nheolis turbineløsningen er en meget innovativ designløsning, men med væsentligt mindre litteratur tilknyttet og en lang og intensiv målekampagne er derfor realiseret i nærværende projekt herpå. Resultaterne virker lovende og det er ikke utænkeligt, at denne løsning vil kunne fremvise endnu bedre resultater effektivitetsmæssigt end i en savoniusløsning i det adresserede vindhastighedsregime. Dog er sikkerhedshensyn vigtig og den sociale acceptans ligeså, og CopenHybrid gruppen føler sig overbevist om at savonius løsningen er det bedste kompromis baseret på den mange forskelligartede krav såvel teknisk som sociologisk.

Det skal endvidere bemærkes at forskningen i nærværende projekt viste at vindhastighedsregimet i byrummet som turbinen i nærværende projekt skal bruges i for en stor dels vedkommende ligger uden for cut-in vindhastigheden for mange systemer på markedet. I fase 2 er det helt afgørende ud over forskning i optimering af vindturbinen, at der udvikles en state-of-the art generatormodel tilpasset møllen med:

- Optimeret energihøst ved 2-10 m/s vindhastighed
- Peak performance ved 4-6 m/s vindhastighed
- Minimering af fortandingsmoment (cogging torque) for at sikre selvstart og lav cut-in speed samt reduktion af støj.

- Effektiv selvstart
- Lav cut-in speed.
- Lavt støjniveau.
- Minimal vibration
- Minimal vedligeholdelse

Fase 1.5 har indeholdt et forstudie hertil, hvor der er udviklet et MATLAB baseret designværktøj, der kan simulere et stort parameterrum af generatorparametre, og deraf finde løsninger, der kan imødekomme de kriterier, der er nødvendige for at realisere et generatorsystem, der passer til kravene og har optimalt kraftoverførsel til møllekonfigurationen. Værktøjet blev forsøgt valideret i forhold til at frembringe en prototype af en generator gennem et masterprojekt på DTU Elektro, og det blev ikke en hel optimal validering grundet de komplikationer, der altid opstår, når der skal realiseres fysiske prototyper ud fra simuleringer, men det indikerede alt andet lige god overensstemmelse på de parametre, der kunne måles meningsfyldt, og det er et godt værktøj at bygge videre på i fase 2, hvor der skal realiseres en lang række prototyper, der skal udmåles såvel selvstændigt på komponentniveau som i samspil med de andre systemkomponenter i CopenHybrid.

I forhold til såvel generator som mølle er det afgørende, at systemet bliver kosteffektivt og i de optimeringsbetragtninger, der er lagt for dagen i forhold til disse teknologiområder, er der intet til hinder for, at det udviklede system kan blive både energimæssigt højtydende og samtidig kosteffektivt. Visse sliddele er dog værd at anvende særligt gode materialer i forhold til, da det ellers ender med at blive dyrt i vedligeholdelse, men det anses for realistisk at indgå gode optimerede kompromiser her baseret på en totaløkonomisk kalkule for hybridsystemet.

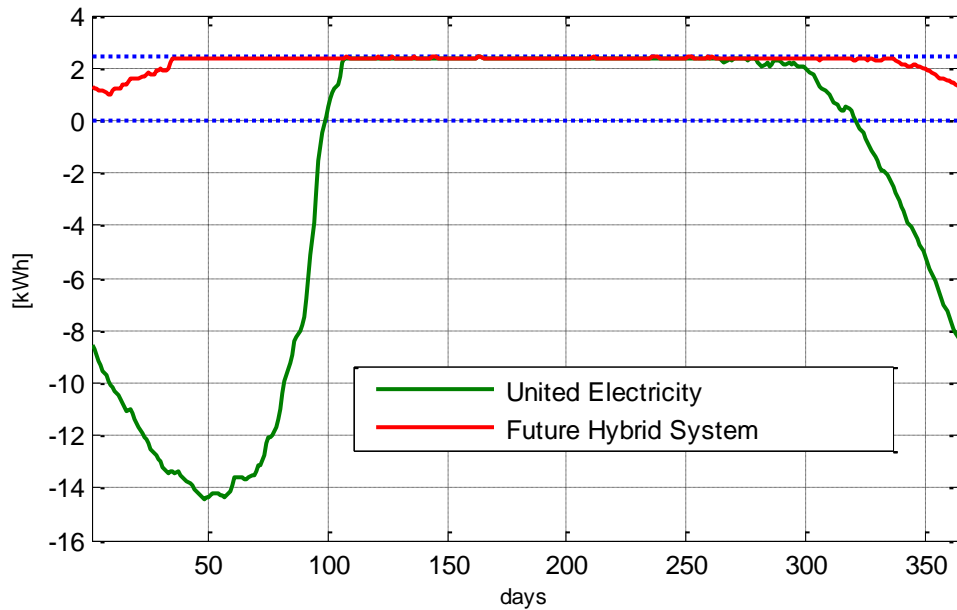
5. MATEMATISK MODELSYSTEM

Det matematiske modelsystem er anvendt ovenfor til simulering af forskellen mellem producentdata og målte data. Grundkoden til den matematiske model er realiseret og dens anvendelse i forhold til simulering af hybridsystemer publiceret³. Det er dog vigtigt med en væsentlig udvikling af koden fremadrettet, da det er et nøgleværktøj i såvel udviklingen af nye hybridsystemer og dimensionering heraf, ligesom et spin-off produkt forventes at være et værktøj til vurdering og sammenligning af hybridsystemer for købere, og andre aktører, der er aktive i en beslutningsproces omkring indkøb af hybridsystemer. Koden er anvendt nedenfor til at vurdere CopenHybrids anvendelse i et standard E2 byrum i DK.

Den mængde energi, der er nødvendig for belysning er givet ved den mængde lys, der skal komme fra armaturet divideret med effektiviteten af armaturet. Når kun en begrænset del af energien er til rådighed er der to muligheder, nemlig at skære ned på belysningstyrken eller hæve energieffektiviteten. Med LED er det meget enkelt at skalere lysstyrken via dæmpning i driveren. Ved reduktion af illuminansen med 50% i intervallet fra 23.00 til 6.00 kan energiforbruget reduceres substantielt en stor del af året. Ud over at skrue på denne parameter forventes energieffektiviteten af LEDer at stige fra de nuværende omkring 100 lm/W til 162 lm/W for varm hvid LED i 2016 og 224 lm/W i 2020⁴. CopenHybrid forventes i produktion i en optimal form i 2017 primært henvendt dog til det globale marked med fokus på de områder, hvor markedsindtrængningen er lettest. I Nedenstående er realiseret en simulering af en 2020 version af CopenHybrid baseret på rammebetingelser for en E2 vej og realistisk opnåelige effektivitetsparametre for optimeret variabel-hastigheds savonius mølle, generator og elektrisk energihøstningssystem.

³ Skrzypiński, W. R., Bak, C., Beller, C., Thorseth, A., Bühler, F., Poulsen, P. B., & Andresen, C. (2013). Wind Turbines on CO2 Neutral Luminaries in Urban Areas. In *Proceedings of EWEA 2013*. European Wind Energy Association (EWEA).

⁴ D.O.E., Multi-Year Program Plan April 2012, http://apps1.eere.energy.gov/buildings/publications/pdfs/ssl/ssl_mypp2012_web.pdf

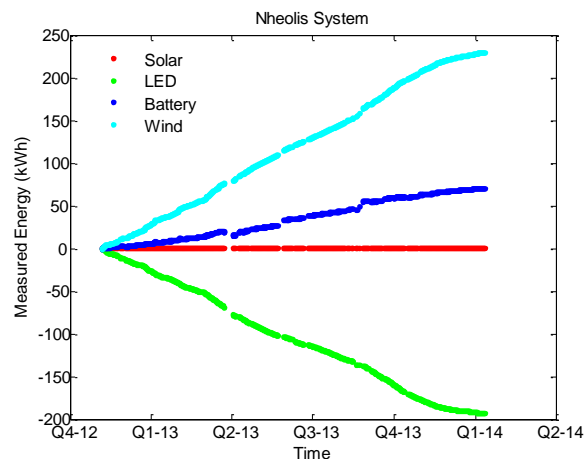


Figur 8 - Sammenligning af simuleret energibalace for CopenHybrid (rød) og United Electricity systemet (grøn) baseret på teknisk optimerede parametre for CopenHybrid løsningen og nutidsværdier for United Electricity løsningen.

Det er erkendeligt ikke nogen specielt fair sammenligning, da United Electricity systemet alt andet lige også forventes at undergå udvikling mod 2020. Det interessante og vigtige er dog, at CopenHybrid via simuleringen fint klarer at holde sig på den positive side af x-aksen og dermed selv i vintermånederne klarer den skærene og kan opretholde sit energiforbrug til belysning. Hvis systemet kan holde sig kørende i Danmark bliver det kun lettere ved at bevæge os sydligere, hvor markedet for hybridsystemer alt andet lige vil forventes større (se endvidere afsnit om markedsanalyse), da misforholdet mellem sommer og vinter er mindre og dag/natlængde er mindre forskellige, og væsentligt mere egnet til hybridsystemer.

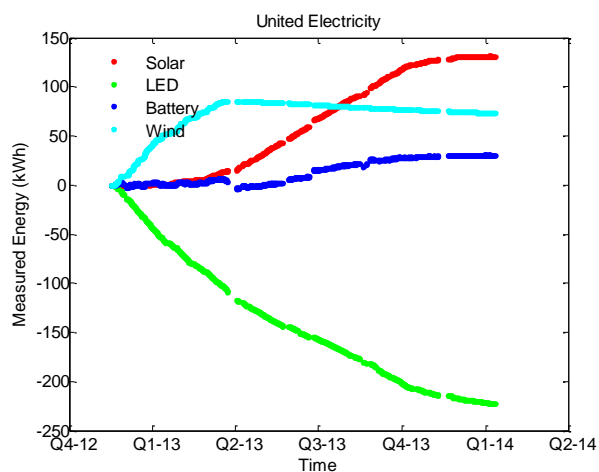
6. ENERGISYSTEMANALYSE

De implementerede hybridsystemer på RISØ Campus har i projektperioden fået renoveret målesystemerne, hvor dette har været nødvendigt og der er blevet etableret datalogning på Urban Green Energy masten. På nedenstående analyser af systemerne er summerede værdier af energistrømmende givet. På Figur 9 nedenfor ses måling af energistrømmende på Nheolis hybridsystemet.



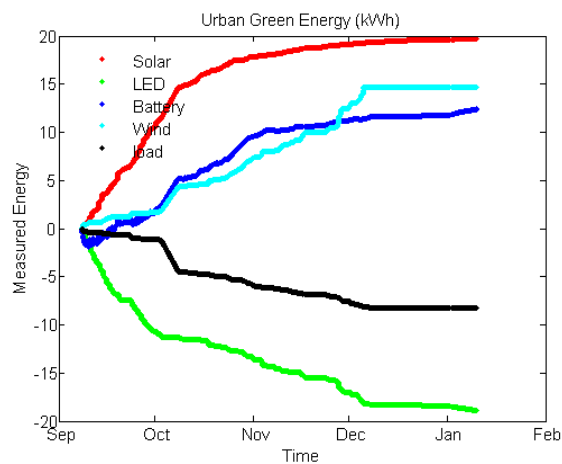
Figur 9 Analyse af Nheolis energisystemet

Nheolis hybridsystemet har som nævnt i slutrapporten for fase 1 projektet problemer med defekt konverterelektronik til solpanelet. På trods af, at der intet energi høstes ender masten kun med et energiunderskud for at holde sig selv kørende på en bar mark på RISØ Campus på ca. 50 kWh på et års tid. Dette virker egentlig som et godt system set ud fra en energibalancebetragtning, især hvis solpanelet havde virket.



Figur 10 Analyse af United Electricity hybridmasten

United Electricity systemet har velfungerende såvel solpanel som turbine indtil Q2 2013, hvor vinddelen af en eller anden ukendt årsag bryder sammen. Projektets omfang har desværre ikke levnet mulighed for at undersøge i detaljer, hvad der sker med systemet, men understreger vigtigheden af at analysere systemerne i drift over tid, da der med alle systemerne er opstået underlige effekter/defekter på forskellige tidspunkter efter idrifttagning.

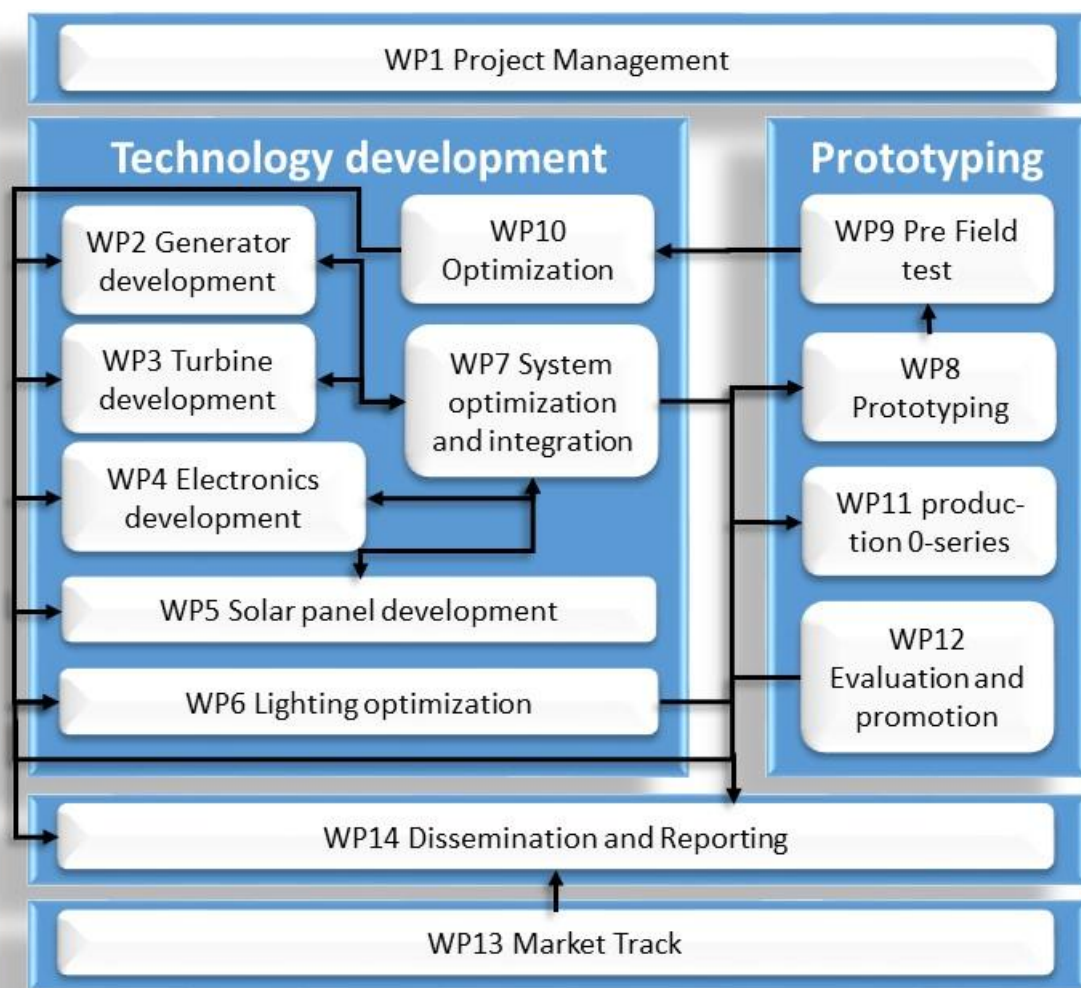


Figur 11 Analyse af Urban Green Energy hybridmasten Sept. 2013 - Jan. 2014

Nærværende mast har nok det underligste energiforløb af alle masterne. Vindturbinen kommer aldrig rigtigt til at høste den ratede værdi, og den bryder sammen efter et par måneder, hvor den gradvist ser ud til at havare. Turbinen låser sig simpelthen fast primo december måned, og har ikke drejet siden, på trods af at alt belastning har været taget af og forskellige fejlsøgningsmetoder er anvendt.

Det er svært at sige noget fornuftigt kvantitativt omkring målingerne af energistrømmende i de forskellige hybridmaster. Det er helt tydeligt nødvendigt at måle på systemerne over tid, og der er nu realiseret en måleplatform herfor på RISØ Campus. Kvaliteten af de 4 systemer, der pr. 1. januar 2012 vurderedes til at være de mest markedsmodne hybridløsninger har i hvert fald skuffet fælt. United Electricity produktet kan være påført skade fra projektgruppen i processen for at sikre målinger på systemet, da der alt andet lige brydes nogle forseglinger herved. De andre systemer er projektgruppen dog ikke skyldige i havarerer og det ser ud til at være en ret stabil trend. Konklusionen fra fase 1 kan videreføres og yderligere underbygges i fase 1.5, nemlig at det er meget umodne produkter som markedet for hybridsystemer udgøres af. Der er rum for forbedring og CopenHybrid er projektgruppens bud på en vej til at rydde de tekniske sten af vejen for at lave et teknisk overlegent danskproduceret produkt til det internationale marked.

Projektgruppen har pr. 4. marts 2014 søgt EUDP midler baseret på et 3 årigt projekt med følgende struktur.



Figur 12 - PERT diagram for arbejdsplanstrukturen i EUDP projekt for realisering af CopenHybrid – en teknologisk overlegen danskproduceret hybridbelysningsløsning til det globale marked.

Ved projektets ende vil en teknologisk overlegen hybridløsning være realiseret i forlængelse af ELFORSK projektet og de identificerede teknologiske problemstillinger afsøgt og overkommet og en række danske underleverandører såvel som en producent vil få mulighed for at udnytte en unik position i markedet for hybridsystemer.

7. MARKEDSANALYSE

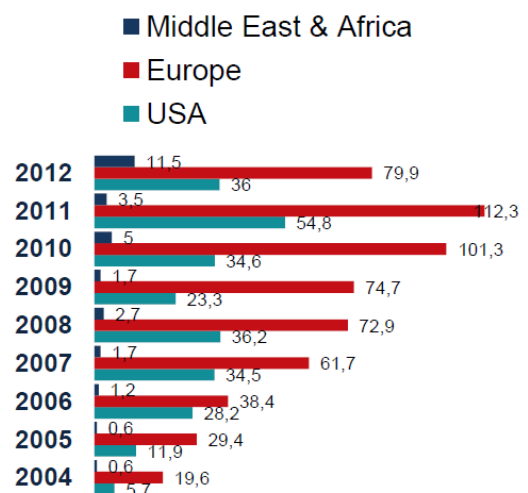
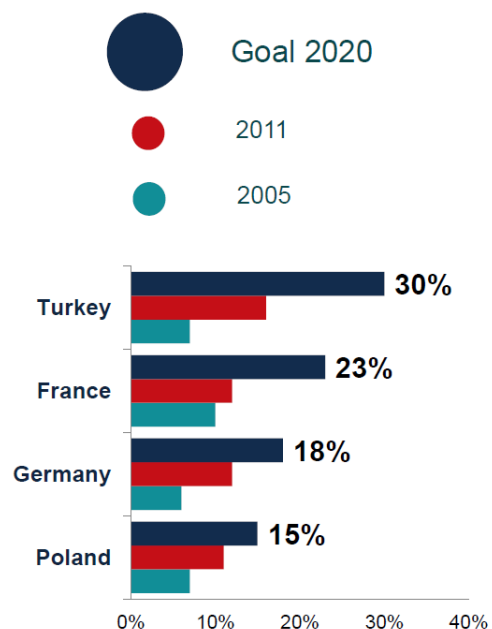
Projektet har foranlediget en markedsanalyse varetaget aldeles uvildigt af Lindberg International i Århus. Opgaven gik ud på at undersøge

- Om der er et marked for CO2 neutrale lysmaster nu og inden for de kommende 5 år, samt hvilke trends og tendenser, der er i markedet.
- Er der basis for et dansk produceret CO2 neutralt lysmasteprodukt?
- Er der et marked for den matematiske model, der i sin endelige form kan anvendes til såvel dimensionering af hybridsystemer (producenter) og evaluering/sammenligning af produkter (købere/arkitekter/byplanlæggere etc.).

For at afgrænse opgaven er der kigget geografisk på USA, Mellemøsten og Europa.

Department of Energy i USA anslår, at der er 58 millionerne lysmaster i USA og kun 1% er blevet udskiftet med ny teknologi (fx LED). Udgifterne til el til gadebelysning i kommunerne udgør derfor op til 40% af elregningen og i nogen områder op til 60%. Elforbruget for lysmaster udgør lidt under 1% af det totale elforbrug i US og i Europa udgør det ca. 1,3%.

En af de store drivere for konvertering til vedvarende energikilder er de politiske mål de enkelte lande har sat sig. Et udsnit heraf for Tyrkiet, Frankrig, Tyskland og Polen er vist på figuren, hvor deres procentvise konvertering til vedvarende energikilder målsat til 2020 og niveauet i 2005 og 2011 er vist. Det ses at et land som Tyrkiet har meget ambitiøse klimamål og tydeligvis har investeret voldsomt heri fra 2005 til 2011 og ser ud til at investere heri. Mange lande supporterer den grønne omstilling med statslige tilskud, og hybridløsningen ligger inden for disse ordninger i mange lande. Den grønne omstilling har generelt set været et meget reguleret marked katalyseret af disse forskellige støtteordninger i de forskellige lande. Solcellemarkedet i Danmark har fx set en væsentlig opbremsning ved overgangen til den timebaserede nettomåleordning november 2012. Der er ingen tvivl om, at CO2 neutrale lysmaster vil kunne lukrere på de forskellige tiltag, der realiseres rundt omkring i verden for at hjælpe den grønne omstilling på vej. Investering i vedvarende energi globalt set var 244 milliarder dollars i 2012 og fordeler sig således i Europa, USA og Mellemøsten & Afrika. Selvom Mellemøstens andel ikke er stor i forhold til USA og Europa, så er investeringerne her mangedoblet de senere år ligesom udviklingen i investeringer i vedvarende energi generelt set er positiv både i Europa og USA set over en ca. tiårig periode selv på trods af en finanskrisse, som med garanti har lagt en dæmper på investeringerne. Det generelle fald i teknologipriserne for



solceller etc. er en vigtig driver for investeringerne i vedvarende energi, da dennes konkurrencedygtighed med fossile kilder alt andet lige er meget incitamentskabende. En anden interessant betragtning er, at udviklingslande investerer næste lige så meget i grøn teknologi som I-landene. Udviklingslandene udbygger deres kapacitet grundet det stigende energibehov grundet deres øgede udviklingsstade og en del af disse investeringer går i retning af grøn teknologi. Sol- og vindteknologis øgede konkurrencedygtighed de senere år har været afgørende for at udviklingslandene har truffet valg til fordel herfor.

Sociologisk er der stor positivitet over for CO2 neutrale lysmaster men emnet er meget nyt og teknologisk udfordrende, og uvidenhed herom er en barriere for indtrængning på markedet i såvel udviklingslande som i-lande. Der ligger en stor opgave i at få markedet til overhovedet at forstå fordelene ved sol- og vinddrevne lysløsninger og de økonomiske fordele heraf i forhold til traditionelle lysmaster. Meget ofte er budgetterne hos indkøberne endvidere bundet op på selve investeringen og ikke totaløkonomien over tid, hvilket kan lede til nogle meget skæve investeringer set ud fra en totaløkonomisk betragtning, som CO2 neutrale lysmaster alt andet lige også baserer den del af sin forretningsmodel på.

Den største konkurrent til hybridmaster er i virkeligheden LED baserede lysmaster, der markant sænker energiforbruget i forhold til eksisterende løsninger. Da effektiviteten ca. vil være 2.5 gange højere end i dag i 2020 og prisen mere end halveret, så er den kablede LED baserede løsning det naturlige valg, hvis der er kabler til rådighed. Solceller vil i samme periode øge deres effektivitet ca. 10-20% og næsten halveres i pris. Væsentligt sværere er det at udtale sig om trendsne i markedet for mikrovindmøller og komponenterne hertil da det er et meget umodent marked, om end også dette marked er i voldsom vækst, hvilket vil sikre en prisreduktion og mindst lige så vigtigt, en effektivitetsøgning af løsningerne. The European Association for Advanced Rechargeable Batteries estimerer mindst en halvering af batteriprisen pr. energienhed i 2020 ligesom energitætheden fordobles og levetiden bliver op til 20 år. Især batterilevetiden er kritisk for hybridsystemer. Hvis teknologitrendsne følges, vil der grundet LED enhedens 2.5 øgning i effektivitet i 2020 skulle anvendes 2.5x mindre sol/vindteknologi til at tilføre energien og batteriet skal ligeledes være 2.5 mindre end et 2014 system. Da disse teknologier også bliver mere effektive og i særlig grad falder markant i pris, bliver prisen for solceller/batteri/vindturbine 85% lavere i 2020 end for 2014 priser for et hybridsystem, hvis der ses på de rå teknologipriser alene. Det er uden tvivl en lidt letsindig antagelse, da der alt andet lige er nogle arealfaktorer etc. som ikke nødvendigvis gør den priskalkule så lineær, som den er antaget i denne beregning, men det er ikke en urimelig antagelse. Så en hybridmast, hvor der i dag tilføres merudgift for at gøre den trådløs på solceller/batteri/turbine på 10.000 kr. for at drive en given LED lyskilde, vil der i 2020 tal kunne opnås samme lysniveau blot for en solcelle/batteri/turbine udgift på 1.500 kr. Hertil tilgår muligheder for at styre lyset intelligent med sensorer etc., som kan bringe såvel energiforbrug som pris endnu længere ned. Endvidere er besparelser på batteriskift ikke medregnet, hvor frekvensen af disse bliver væsentligt mindre i fremtiden.

Med hensyn til eksisterende CO2 neutrale løsninger på markedet, er der stor bekymring på batteriområdet, som mange aktører har haft skuffelser grundet fejl herpå.

Nøgle markedsdriverne/barriererne for hybridmaster

+

Teknologi: LED, PV, batterier, turbine øget effektivitet og lavere kost

Politiske initiativer: Støtteordninger og andre politiske initiativer har understøttet markedet.

-

Pris: Hybridsystemer er i indkøb dyrere end traditionelle lysløsninger, hvilket er en barriere.

Prisopfattelse: Køberne har en opfattelse af, at hybridsystemer er MEGET dyrere end de reelt er.

Generel bevidsthed: Køberne har generelt en opfattelse af, at hybridsystemer ikke "virker" eller er effektive nok (laver energi nok) til reelt at kunne drive belysning. Der er et stort behov for oplysning og overbevisning.

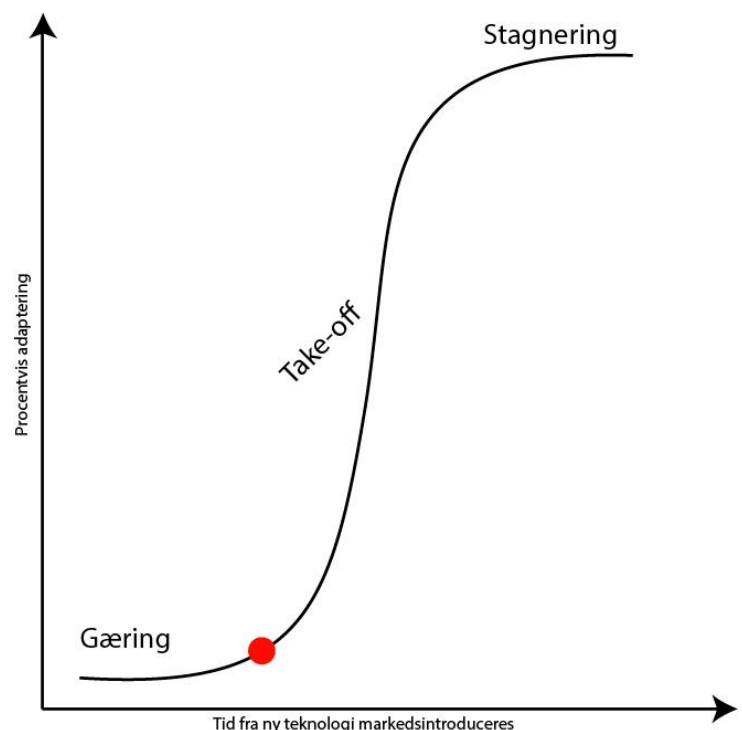
Den direkte konkurrencesituation om markedet for hybridmasten er den lange række af producenter af masteløsninger alene med solceller samt de andre aktører på markedet, der producerer hybridbelysningsløsninger, hvilket alt i alt efterhånden er en del. Med den kvalitet og teknologihøjde som CopenHybrid ligger for dagen efter endt fase 2 projekt, så er der ingen aktører på markedet, der er direkte konkurrenter, som markedet ser ud i dag. Mange af de aktører, som er på markedet viser sig useriøse, når man spørger køberne, og de kan sjældent levere i større antal. Så det er helt klart et marked, der er åbent for at få en dominerende aktør. Blandt de indirekte konkurrenter er andre måder at skabe sin strøm på via vedvarende energikilder. Kunderne ser det som en CO2 neutral løsning, at få sin strøm produceret af solpaneler placeret et andet sted eller en vindmølle eller sågar via atomkraft og ledt ud i kabelnettet til lysmasten. Kunderne er dog bevidste om udfordringerne ved kabellægningen hertil. Den største direkte konkurrent til hybridmasterne er helt klart LED baserede master, hvor alle de energibesparende fordele kan opnås ved LED teknologien samt den lange levetid som LED teknologien lover. Så kunderne ser i større omfang på muligheden for at realisere energibesparelserne baseret alene på LED teknologi, og så etablere nogle vedvarende energiløsninger, der føder ind i nettet.

Pristolerancen er meget forskellige fra land til land. I Tyskland og Frankrig fx er man vant til i højere grad at gå efter kvalitet og er derfor villig til at betale mere for et lysprodukt, mens der i Golfstaterne er meget stort fokus på pris og løsningerne må helst ikke koste noget. Dog er der en bevægelse i gang mod ønske om mere kvalitet disse steder, da det alt andet lige giver mange vedligeholdelsesudgifter at spare på pris og dermed kvalitet.

Markedsstørrelsen estimeres til at være på 400.000 ± 10.000 om året på globalt plan på nuværende tidspunkt og stigende med noget der minder om 10% på årlig basis og markedet/produktet forventes at befinde sig i den afsluttende gæringstilstand som vist med den røde prik på kurven. Om 5 år forventes et reelt take-off for teknologien i kampen om markedsandele af de over 4 milliarder gadelamper, der er installeret

globalt. Da der er ganske få seriøse aktører på dette marked er det en unik mulighed for at få fodfæste på et hybridmarked inden reelt take-off og få realiseret og konsolideret en produktserie, der kan imødekomme de mest relevante kundekrav og ikke mindst sikre sig en teknologisk førerposition og den rette IPR i opbygningen heraf. Generelt set vælges hybridløsninger, hvor solcellerne er placeret optimalt vinklet i forhold til solen og dermed ikke integreret i masten. Der er dog ved at ske et skred i retning mod de vertikale løsninger integreret i masten, da de trods en lidt højere pris er mere æstetiske, er meget mere robuste og i større grad selvrensende og en evt. aftørring er væsentligt nemmere end ved horisontale løsninger. Der er decideret udbud, hvor der skrives vertikale løsninger ind for nuværende. CopenHybrid lægger sig altså optimalt i forhold til transformationen over mod de vertikale solcelleløsninger.

En interessant opdagelse er, at indkøberne er glade for de ekstra services, som en sådan hybridløsning kan bringe med sig som fx:



- Kameraovervågning.
- Wifi access og dermed internet adgang.
- Partikeltælling, forureningsmåling og diverse målinger.
- Markedsføringsmuligheder integreret i pælen/skilte.
- Telefonopladning.
- Sensorer.

Disse ønsker gør sig primært gældende i Europa og USA, og tilkøb af specialfeatures er bestemt noget, der bør adresseres i markedsøjemed.

CopenHybrid er, når man spørger kunderne, primært et stærkt produkt til områder, hvor der ikke er kabling etableret, eller denne ikke er tilstrækkelig. Som den sekundære produktstyrke peger kunderne på den kommunikative effekt, som hybridløsningerne har i forhold til budskabet om bæredygtighed/ansvarlighed over for klimaet. Nogen nævner tilmed, at det er synd at solcellerne ikke fremtræder stærkt adskilt fra produktet, da man har svært ved at se, at det faktisk er et solcelleprodukt (hvilket er en designfeature set med CopenHybrid øjne). Andre udfordringer kunderne nævner er:

- Den høje initialpris i forhold til traditionelle lysmaster.
- Risiko for tyveri - solpanelerne stjæles fra de horisontale løsninger.
- Større vedligeholdelsesomkostninger i forhold til traditionelle lysløsninger.
- Begrænset batterikapacitet.
- Negativ forudopfattelse af om vedvarende energisystemer integreret i master overhovedet kan drive dem.
- Effektivitet af turbiner.
- Støj fra turbinen
- Begrænset bevis for, at hybridsystemer virker
- CopenHybrid fremstår lidt "high-tech", hvilket ikke passer ind i alle miljøer fx de mere nostalgiske.
- Lav ROI.

Som tidligere nævnt er mange af ovenstående bekymringer grundet et lavt vidensniveau hos indkøberne i forhold til, hvad der kan lade sig gøre teknologisk. Der ligger et stort arbejde i at overbevise køberne om, at virkeligheden er anderledes end deres opfattelse og at priserne faktisk er lavere end langt de fleste forventer, og prisudviklingen for hybridsystemerne vil nærme sig prisen for en almindelig lysmast inden for 5-6 år grundet alle teknologierne i systemets individuelle udvikling. Markedet for hybridmaster er et nichemarked, men et 8-10 milliarder DKK marked på årsbasis de næste 5 år, hvor efter take-off vil skabe en markedsindtrængning med en mangedobling til følge, der er umulig at spå om det endelige omfang af og om væksten vil være eksponentiel eller mere afdæmpet. Sikkert er det i hvert fald, at selv de ca. 4 milliarder af nettilsluttede lysmaster, der er installeret globalt har et forgængeligt kabelnet, der skal renoveres inden for et tidsvindue på 40-50 år. Så ud over nyanlæg og områder uden for det nuværende kabelnet, er det ikke utænkeligt, at et vist omfang af det for nuværende etablerede kabelnet vil blive undladt renoveret og kabelfri hybridmaster implementeret på sigt. Kabellægning koster 2000 €/meter i Berlin og 5000 DKK/m i København, så der er også i byrummet massive kabellægningsomkostninger at spare, hvis hybridløsninger kan løse opgaven. De alt for bygningstætte gader i bymidten kommer aldrig til at være drevet af hybridsystemer, men det er alt andet lige en meget lille del af belysningen, der er placeret her, så potentialet for hybridsystemer er til stede voksende med vigende bygningsmasse (især i højden) og ikke mindst stærkt stigende med teknologiudviklingen af komponenterne i energikæden.

Dimensioneringsværktøjet – CopenHybridMat

I markedsanalysen blev såvel indkøbere som producenter spurgt om deres interesse for et dimensioneringsværktøj i 2 former:

- **Dimensioneringsværktøj til producenter af hybridsystemer**, der kan indtaste parametre for alle teknologikomponenterne i hybridsystemet og simulere dets performance i givne placeringer hos kunden og forudsige om energiproduktionen står mål med energibehovet. Endvidere vil værktøjet kunne vise, hvor svaghederne i systemet er, om fx betydningen af en lavere cut-in speed for møllen vil løse problemet, om elektronikken performer uhensigtsmæssigt ved forskellige vindhastigheder, om en øgning af turbinens placering i højden med en meter etc. kan løse problemstillingen. Et relativt kompliceret værktøj i sin opbygning, men en måde at gøre et kompliceret system transparent, så man kan tage de rette beslutninger i forhold til sin udviklingsproces og forbedring af parametrene i systemet samt validere, da de endelige produkter, via en simulering lever energimæssigt op til behovet.
- **Evalueringsværktøj til indkøbere, arkitekter, byplanlæggere etc.**, hvor systemerne via fx en webapplikation kan vurderes i forhold til hinanden i en given placering i et byrum. En anden afart af softwaren kan være som plug-in til andre relevante programmer, disse aktører i forvejen bruger til deres byplanlægning, og dermed let kan lave en ærlig simulering af et givent produkt energimæssigt i en given placering, og dermed kan vurdere, om det er tilfredsstillende før indkøbet.

Producenterne tager særlig godt imod udvikling af dette værktøj, da de tydeligvis har indset behovet herfor i deres proces med udvikling af produkterne. Endvidere er disse bekendt med udfordringen med at "overbevise" kunderne om, at det er et energimæssigt forsvarligt produkt de søger at levere til hertil. Et produkt der kan realisere letforståelige simuleringer heraf vil altså også kunne tjene som værktøj til vise kunderne, hvad de kan forvente sig og at dette faktisk er væsentligt bedre end deres umiddelbare forventning. En ærlig sammenligning mellem to produkter via en simulering vil også sikre, at de producenter, der faktisk leverer gode produkter, også vil fremtræde som de bedste. Værktøjet vil også kunne tjene til dette formål, og en uvildig instans kunne måle disse parametre og lægge dem ind i værktøjet, så det objektiviteten sikres. Det er alt andet lige et marked, der er præget af mange mindre seriøse spillere, der ikke er blege for at oplyse komponenteffektiviteter, der er langt bedre, end deres virkelige performance er.

Indkøberne er væsentligt mere skeptiske over for et værktøj af denne type. Langt de fleste ytrer, at de allerede har gratis adgang til vinddata og soldata og derfor ikke har brug for et ekstra værktøj hertil. Den helt store barriere er her på kort tid at bringe det rette forståelsesniveau, der kan frembringe en reel vurdering, da det vil være ganske besværligt at opnå de samme konklusioner som værktøjet uden at have de forskellige parametre indlejret i samme system. En yderligere udfordring er, at hybridsystemer alt andet lige er en meget ny ting for denne kundegruppe, og de har i forvejen har meget svært ved at forstå det relativt komplekse produkt, og et værktøj til at vurdere for kunden uhåndgribelige produkter i forhold til hinanden og succesfuld performance i den givne placering er umiddelbar for kompleks til at give meningsfulde svar. Projektgruppen har bestemt respekt for sine forventeligt kommende kunder, men det lader til at værktøjet til dette segment er langt forud for sin tid og et kundeudtalt behov kommer først, når det reelle take-off for hybridsystemerne bliver en realitet. Projektgruppen er dog blot blevet styrket i sin tro på, at dette værktøj bliver aldeles nødvendigt på et tidspunkt også over for denne kundegruppe, om end kunderne i første omgang vil være producenter og i næste omgang så købere, arkitekter og byplanlæggere. Det er ikke utænkeligt at det vil i en overgang være konsulenter, der vil kunne betjene sig af værktøjet, således at dets brug bliver forankret højere oppe i videnskæden. Relativt sikker er det dog, at hvis markedet for hybridsystemer holder effektivt take-off om 5 års tid, så vil der være brug for værktøjer til at evaluere produkterne før indkøb, hvis ikke der skal realiseres store fejlindvesteringer, og der vil et sådan værktøj være en nøgle til undgåelse heraf.

8. FORMIDLING

ELFORSK Projekterne 343-021 "Udvikling af CO2 neutralt byrumsarmatur" og 339-50 "CopenHybrid – udvikling af CO2 neutralt byrumsarmatur – Fase 1.5" har kastet følgende formidlingsaktiviteter af sig:

Formidling i form af artikler/konferenceindlæg

- Sol over Egedal, En ny gadelampe med sol - og uden ledning, 24. April 2014 Egedal.
- Det CO2 neutrale armature – Copenhybrid, 6. Nov. 2013 – Ingeniørhuset.
- CO 2 neutral armature – DTU Dynamo – the April 2013 issue
- Skrzypinski, Witold Robert ; Bak, Christian ; Beller, Christina ; Thorseth, Anders ; Bühler, Fabian ; Poulsen, Peter Behrendorff ; Andresen, Christian, Wind Turbines on CO2 Neutral Luminaries in Urban Areas, EWEA 2013 - European Wind Energy Conference & Exhibition, Vienna 2013
- Den selvforsynende gadelampe, Aktuel Naturvidenskab, Vol. 2013, No 2, p12-13
- Poulsen, Peter Behrendorff ; Dam-Hansen, Carsten ; Thorseth, Anders ; Thorsteinsson, Sune ; Ellermann, Stine ; Bak, Christian ; Skrzypinski, Witold Robert ; Beller, Christina ; Kock, Carsten Weber ; Bühler, Fabian ; Harboe, René Kirstein ; Boesgaard, Per ; Jensen, Tim ; Søndergaard, Ole ; Andresen, Christian ; Fahlén, Morten ; Maare, Thomas ; Prestegaard, Hugo ; Poulsen, Jan ; Kremmer, Susanne, CopenHybrid – Development of a CO2 neutral hybrid street lighting system for the Danish municipalities' illumination classes, 4th World Summit for Small Wind (WSSW 2013), Husum, 2013
- Poulsen, Peter Behrendorff ; Dam-Hansen, Carsten ; Corell, Dennis Dan ; Thorsteinsson, Sune ; Thorseth, Anders ; Petersen, Paul Michael ; Bak, Christian ; Skrzypinski, Witold Robert, CO2 neutralt armatur – CopenHybride, By Land Lys, Albertslund, 2012
- <http://www.gate21.dk/Projekter/CO2-neutralt-byrumsarmatur/> (2011)
- http://www.electronic-supply.dk/article/view/58391/dansk_konsortium_vil_lave_co2neutral_gadelampe (2011)
- <http://ing.dk/artikel/ny-dansk-gadelampe-far-indbygget-vindmølle-og-solceller-115447> (2011)
- <http://www.klimaupdate.dk/default.asp?newsid=1157&opt=1> (2011)
- <http://www.dansklys.dk/newsdetail/article/lkcjxvnhkvae.html> (2011)

Projektets resultater og problemstillinger blev diskuteret ved følgende events:

- 3rd Expert meeting SSL Annex 4E, Stockholm, Sweden 6. - 8. September 2011
- 2011 IES Street and Area Lighting Conference, New Orleans, USA 18. - 21. September 2011
- The Hong Kong International Lighting Fair 26. - 29. Oktober 2011
- Light and Building 2012, Frankfurt Messe, 15. – 20. April 2012
- TV2 Lorry 16. April 2013 kl. 20.30.
- CopenHybrid – Development of a CO2 neutral hybrid street lighting system for the Danish municipalities' illumination classes. – EUPVSEC 2013 September 2013

Planlagte aktiviteter

- Energiens Topmøde 11. juni 2014
- Folkemøde på Bornholm 12.-15. juni 2014
- Installation af 2 CopenHybrid's i DOLLs Living Lab for markedsføring nationalt/internationalt sept. 2014.